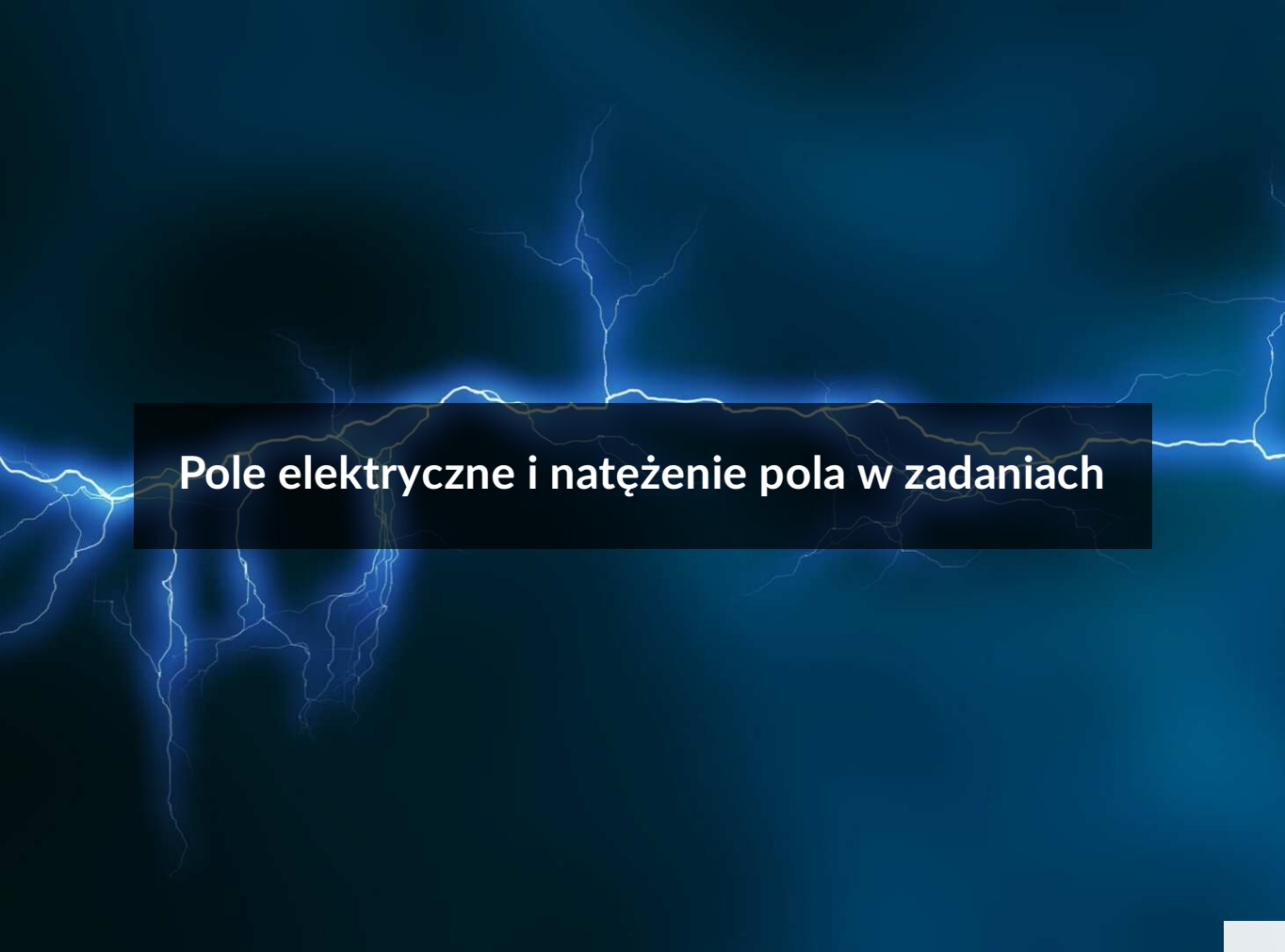




Pole elektryczne i natężenie pola w zadaniach

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Film samouczek](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Pole elektryczne i natężenie pola w zadaniach

Czy to nie ciekawe?

Elektron jest magiczną cząstką elementarną, która pozwala na wyjaśnienie większości (jeśli nie wszystkich) zjawisk elektrostatyki. Wchodzi w skład wszystkich atomów, a więc tworzy materię. Cząstka ta ma najmniejszy, zwany elementarnym ładunek elektryczny, którego wartość została wyznaczona przez R. Millikana ponad 100 lat temu. Każdy ładunek jest wielokrotnością ładunku elementarnego i jego obecność w przestrzeni nadaje jej wyjątkowe własności. O tej przestrzeni zwanej polem elektrycznym będzie niniejszy materiał.

Twoje cele

Pracując z tym e-materiałem:

- zrozumiesz, dlaczego pole elektryczne nazywa się źródłowym,
- nauczysz się definiować natężenie pola i korzystać z tej definicji w rozwiązywaniu praktycznych problemów,
- przeanalizujesz rozwiązania ciekawych problemów elektrostatyki,
- zastosujesz zdobytą wiedzę do rozwiązywania zadań rachunkowych.

Przeczytaj

Warto przeczytać

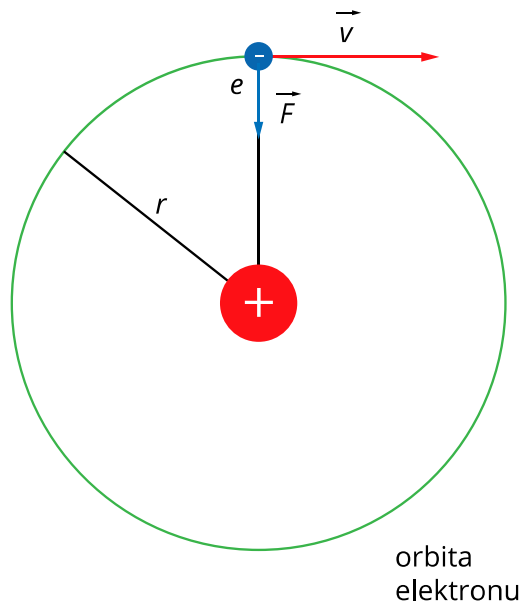
Pole elektryczne to przestrzeń o własności oddziaływania, to przestrzeń sił, które to oddziaływanie określają. Źródłem pola elektrycznego jest naelektryzowane ciało. Co to znaczy „naelektryzowane” (lub naładowane elektrycznie)? Oznacza to, że została w nim zachwiana równowaga ładunków dodatnich i ujemnych. Jest w nim nadmiar elektronów lub za mało elektronów, by zobojętnić protony. Naelektryzowane ciało tak modyfikuje przestrzeń wokół siebie, że jeśli pojawi się w niej inne ciało nieobojętne elektrycznie, to dozna działania siły zwanej elektryczną. W każdym punkcie pola elektrycznego jest określona wielkość zwana natężeniem pola i oznaczana przez $\vec{E}$. Jest to wielkość wektorowa zdefiniowana jako siła $\vec{F}$ działająca na **ładunek próbny** jednostkowy:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

Zacznijmy od atomu... najprostszego atomu, czyli atomu wodoru. Tworzą go tylko dwie cząstki: elektron i proton. Łączy je siła oddziaływania elektrostatycznego opisana prawem odkrytym przez Coulomba. Obliczenie jej wartości oraz obliczenie natężenia pola wytworzonego przez jądro tego atomu będzie zadaniem nr 1.

Zadanie 1.

Odległość między protonem i elektronem w atomie wodoru wynosi $r = 0,53 \cdot 10^{-10}$ m. Cząstki mają ładunek elementarny równy $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C. Obliczmy wartość siły oddziaływania i wartość pola elektrycznego wytworzonego przez proton w odległości równej promieniowi atomu wodoru.



Rys. 1. Model atomu wodoru - na elektron, krążący wokół protonu, działa siła elektryczna $\vec{F}$, która pełni rolę siły dośrodkowej

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Rozwiązanie: Korzystamy z prawa Coulomba:

$$F = k \frac{e^2}{r^2}$$

$$F = 9 \cdot 10^9 N \frac{m^2}{C^2} \left(\frac{1,6 \cdot 10^{-19} C}{0,53 \cdot 10^{-10} m} \right)^2 = 8,2 \cdot 10^{-8} N$$

Siła, dzięki której cząstki tworzą obojętny elektrycznie atom wynosi $8,2 \cdot 10^{-8} N$.

Natężenie pola elektrycznego:

$$E = k \frac{e}{r^2}$$

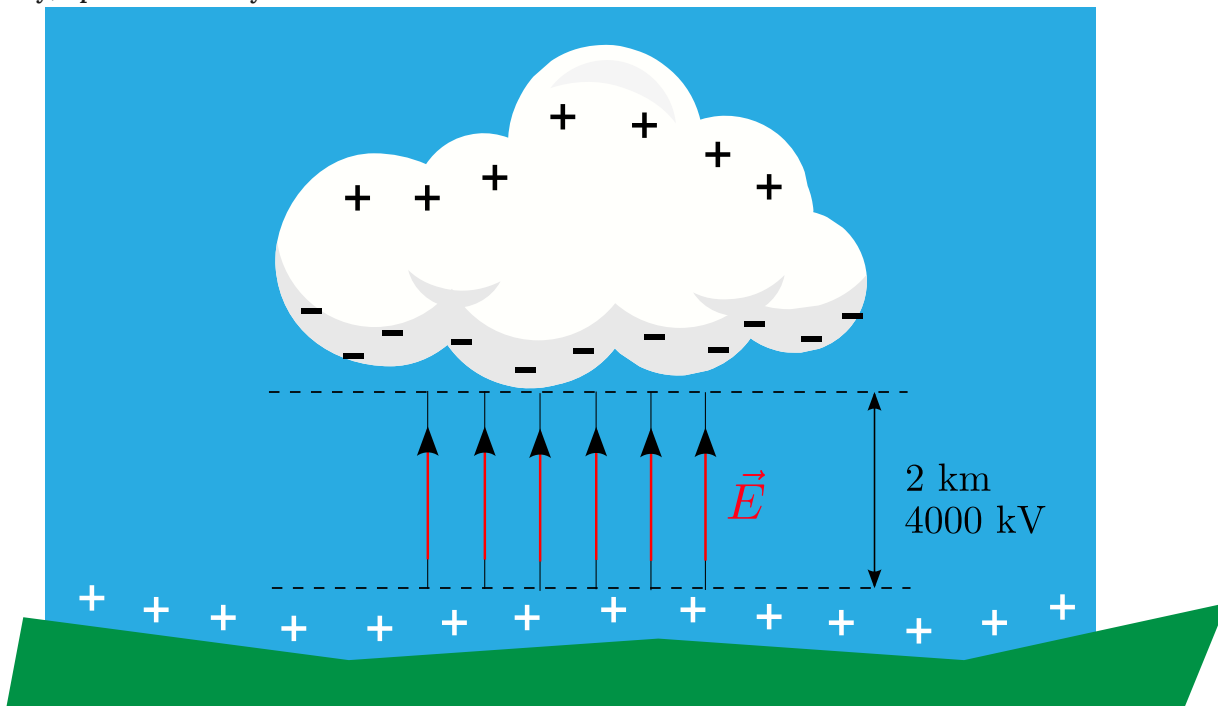
$$E = 9 \cdot 10^9 N \frac{m^2}{C^2} \frac{1,6 \cdot 10^{-19} C}{(0,53 \cdot 10^{-10} m)^2} = 5,125 \cdot 10^{11} \frac{N}{C}$$

Popatrz na ten wynik - to jest ogromna wartość natężenia pola elektrycznego wewnątrz atomu.

Zadanie 2.

Wyładowanie elektryczne między chmurą a ziemią.

Dolna część chmury i ziemia naelektryzowane są ładunkami przeciwnego znaku (Rys. 2a.). Wytwarza się zatem pomiędzy nimi bardzo silne pole elektryczne. Jest ono na tyle silne, że powoduje rozpędzanie jonów i elektronów do prędkości, które pozwalają na bardzo krótkich odcinkach w zderzeniach z atomami powodować ich jonizację. Proces jest gwałtowny, spontaniczny.



Rys. 2a. Dolna część chmury jest zwykle naładowana ujemnie, zaś ziemia dodatnio. Wytwarza się między nimi bardzo silne pole elektryczne.

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

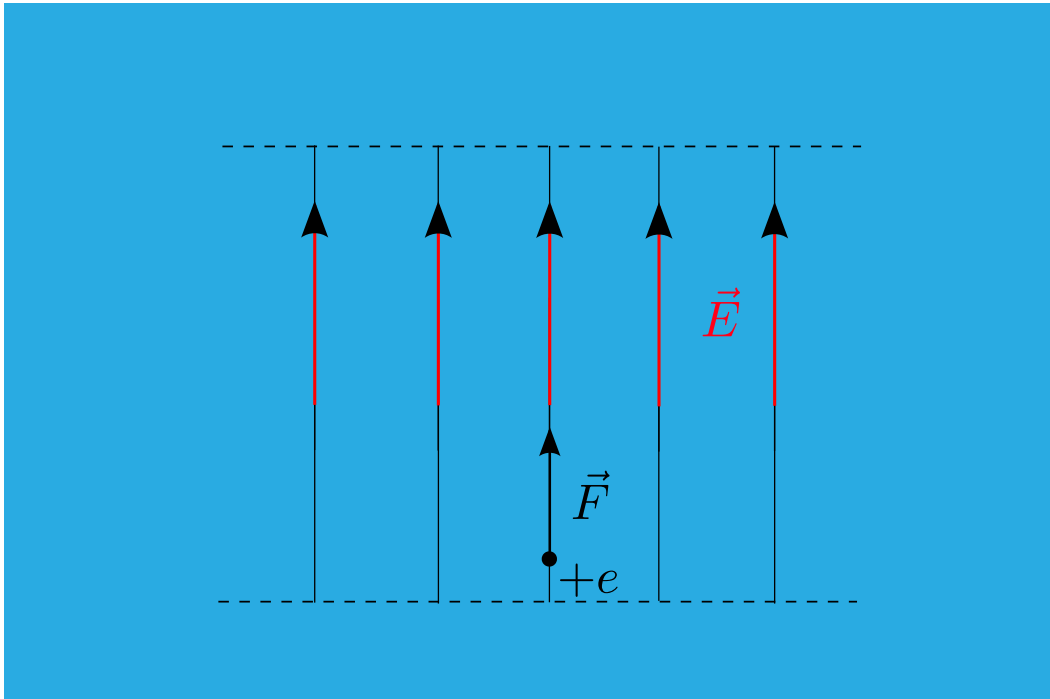
Oblicz:

1. Natężenie pola w powietrzu, wiedząc, że napięcie pomiędzy chmurą i ziemią wynosi 4 000 000 V, a odległość między nimi jest 2000 m,
2. Siłę działającą na jednokrotnie zjonizowany atom azotu,
3. Przyspieszenie jonu azotu o masie $m = 23,25 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$,
4. Prędkość, do jakiej się rozpędzi w czasie 0,1 ms.

Rozwiązania:

1. Aby obliczyć natężenie pola elektrycznego, korzystamy ze związku pomiędzy napięciem pomiędzy dwoma punktami a natężeniem pola:

$$E = \frac{\Delta V}{d} = \frac{4 \cdot 10^6 \text{ V}}{2 \cdot 10^3 \text{ m}} = 2 \cdot 10^3 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$



Rys. 2b. W polu elektrycznym o natężeniu $\vec{E}$ na jednokrotnie zjonizowany atom działa siła $\vec{F}$.

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

2. Aby obliczyć siłę działającą na jednokrotnie zjonizowany atom (Rys. 2b.) należy pomnożyć ładunek elementarny przez obliczone natężenie pola:

$$F = Ee = 2 \cdot 10^3 \frac{V}{m} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} C = 3,2 \cdot 10^{-16} N$$

3. Korzystając z II zasady dynamiki wartość przyspieszenia:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{3,2 \cdot 10^{-16} N}{23,25 \cdot 10^{-27} kg} = 0,138 \cdot 10^{11} \frac{m}{s^2}$$

4. Prędkość jonu:

$$v = at = 0,138 \cdot 10^{11} \frac{m}{s^2} \cdot 10^{-4} s = 13,8 \cdot 10^5 \frac{m}{s}$$

Ten wynik to ponad tysiąc kilometrów na sekundę. Gigantyczna prędkość zjonizowanego atomu!

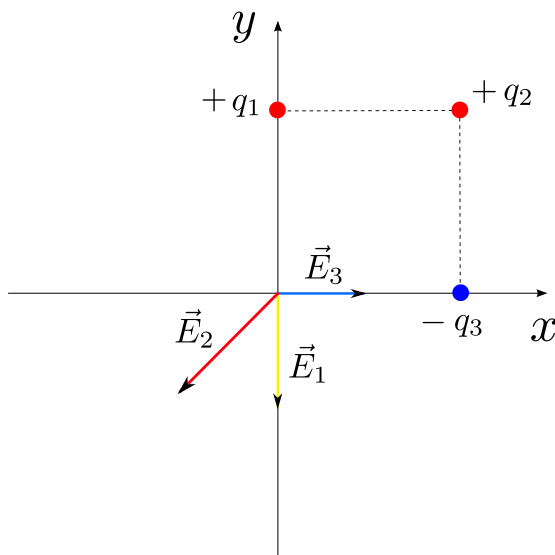
Zadanie 3.

W trzech wierzchołkach kwadratu o boku a znajdują się trzy ładunki o różnej wartości i różnych znaków: $+q_1$, $+q_2$ i $-q_3$. Wyznacz wektor natężenia pola w czwartym wierzchołku

kwadratu.

Rozwiązanie:

Każdy z ładunków wytwarza pole elektryczne. Pole w czwartym wierzchołku będzie wynikiem superpozycji pól, czyli sumą wektorową trzech natężeń pól wytworzonych przez trzy źródła.



Rys. 3. Każdy z ładunków umieszczonych w trzech wierzchołkach kwadratu wytwarza pole elektryczne.

Natężenie pola w czwartym wierzchołku jest sumą wektorów $\vec{E}_1$, $\vec{E}_2$ i $\vec{E}_3$.

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Zapiszmy wektory natężenia pola elektrycznego korzystając z układu współrzędnych przedstawionego na Rys. 3.:

$$\vec{E}_1 = \left(0, -\frac{kq_1}{a^2}, 0 \right)$$

$$\vec{E}_2 = \left(-\frac{kq_2}{(a\sqrt{2})^2} \sin 45^\circ, -\frac{kq_2}{(a\sqrt{2})^2} \cos 45^\circ, 0 \right)$$

$$\vec{E}_3 = \left(\frac{kq_3}{a^2}, 0, 0 \right)$$

$$\vec{E}_w = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3$$

Dodajemy wektory w ten sposób, że dodajemy poszczególne składowe tych wektorów, a więc:

$$E_{wx} = k \frac{q_3}{a^2} - k \frac{q_2}{2a^2} \frac{\sqrt{2}}{2} = -\frac{k}{a^2} \left(q_1 + \frac{q_2 \sqrt{2}}{4} \right)$$

$$E_{wy} = -k \frac{q_1}{a^2} - k \frac{q_2}{2a^2} \frac{\sqrt{2}}{2} = -\frac{k}{a^2} \left(q_1 + \frac{q_2 \sqrt{2}}{4} \right)$$

$$E_{wz} = 0$$

W rozwiązaniu tego zadania nie można było korzystać z wygodnej zasady równoległoboku przy dodawaniu wektorów, bo ich długości były różne.

Słowniczek

ładunek próbny

(*ang.: test charge*) ładunek dodatni nie zakłócający pola elektrycznego.

Film samouczek

Pole elektryczne i natężenie pola elektrycznego w zadaniach

W samouczku przedstawiono szczególny sposób opisu pola elektrycznego za pomocą pojęcia gęstości energii. Obejrzyj samouczek i wykonaj polecenia.

Polecenie 1

Czy gęstość energii zależy od objętości obszaru, w którym występuje pole elektryczne?

- ☐ Nie - gęstość nie zależy od objętości.
- ☐ Tak - im większy obszar, tym większa gęstość energii.

Polecenie 2

Czy mając podaną gęstość energii i objętość obszaru, w którym jest pole elektryczne można obliczyć energię z nim zawartą?

- ☐ Tak, ale pod warunkiem pola jednorodnego. Wtedy energia będzie równa iloczynowi objętości i gęstości.
- ☐ Nie, w ogólnym przypadku nie można obliczyć energii.
- ☐ Tak – należy pomnożyć gęstość energii przez objętość.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Pole fizyczne może być polem skalarnym lub wektorowym. Poniżej podane są przykłady pól fizycznych. Do każdego z nich przyporządkuj właściwe określenie.

Pole temperatur ☐ skalarnie / ☐ wektorowe

Pole grawitacyjne ☐ skalarnie / ☐ wektorowe

Pole elektryczne ☐ skalarnie / ☐ wektorowe

Pole gęstości ☐ skalarnie / ☐ wektorowe

Pole prędkości ☐ skalarnie / ☐ wektorowe

Pole gęstości energii ☐ skalarnie / ☐ wektorowe

Ćwiczenie 2



Jądro uranu 238 o liczbie atomowej 92 ma promień równy $6,64 \cdot 10^{-15} \text{m}$. Oblicz natężenie pola elektrycznego przy powierzchni jądra zakładając, że jądro jest równomiernie naładowaną kulą. Ładunek elementarny $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$, stała $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$.

$$E = \boxed{} \cdot 10^{21} \frac{\text{N}}{\text{C}}.$$

Ćwiczenie 3



a) Ile elektronów brakuje każdemu z dwóch identycznie zjonizowanych atomów, które znajdując się w próżni w odległości $r=10^{-8}\text{m}$ od siebie, odpychają się siłą $F=0,9216\cdot 10^{-11}\text{N}$?

Ładunek elementarny $e=1,6\cdot 10^{-19}\text{C}$, $k=9\cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$.

☐ 4

☐ 3

☐ 1

☐ 2

b) Jakie natężenie pola wytwarza pojedynczy jon w miejscu, gdzie znajduje się drugi z nich?

$E =$ $\cdot 10^8 \frac{\text{N}}{\text{C}}.$

Ćwiczenie 4

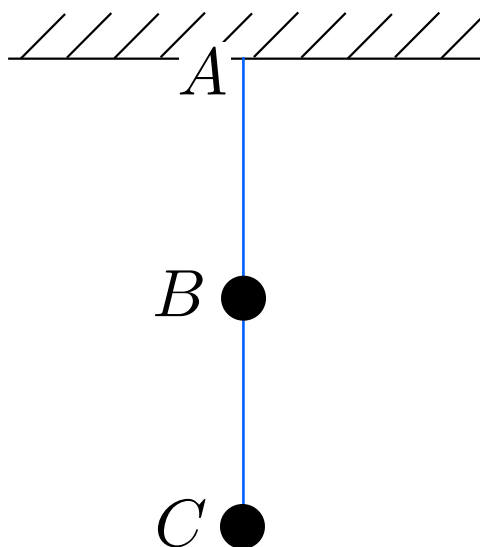


Dwie kulki o równych masach $m=0,2$ g, naelektryzowane ładunkami $q=10^{-8}\text{C}$ każda zawieszono na nici, jak na rysunku poniżej. Odległość między kulkami wynosi $d=3$ cm. Jaka siła napręża część nici powyżej kulek, a jaka pomiędzy nimi? Rozpatrz przypadek, gdy kulki są naładowane:

a) jednoimiennie;

b) różnoimiennie.

Wynik podaj w miliniutonach, przyjmij $g=10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.



Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

a) $F_{AB} =$ mN, $F_{BC} =$ mN.

b) $F_{AB} =$ mN, $F_{BC} =$ mN.

Ćwiczenie 5

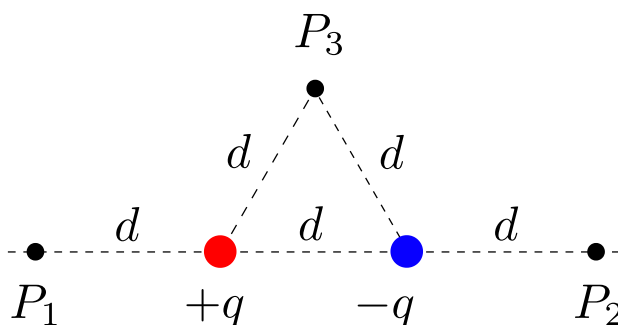


Dwa różnoimienne ładunki punktowe mają równe wartości q każdy i leżą w odległości d od siebie (rys.) Poniżej podane są relacje pomiędzy wartościami natężeń w punktach P_1 , P_2 i P_3 . Która jest prawidłowa?

P_1 jest punktem leżącym na prostej, przechodzącej przez punkty położenia ładunków, w odległości d za ładunkiem dodatnim;

P_2 jest punktem leżącym na prostej, przechodzącej przez punkty położenia ładunków, w odległości d za ładunkiem ujemnym;

Punkt P_3 leży na symetralnej odcinka łączącego punkty położenia ładunków, w odległości d od każdego z ładunków.



Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

☐ $E_2 > E_1 > E_3$

☐ $E_1 = E_2 > E_3$

☐ $E_3 < E_1 < E_2$

☐ $E_1 = E_2 < E_3$

Ćwiczenie 6



Wyznacz wektor natężenia pola elektrycznego w środku kwadratu, w którego wierzchołkach znajdują się ładunki elektryczne. Bok kwadrantu wynosi a , wartość ładunku q_0 . Ładunki w wierzchołkach ułożone są kolejno (od lewego górnego wierzchołka, zgodnie z ruchem wskazówek zegara): $+q_0$, $-q_0$, $+3q_0$, $-4q_0$.

☐ $E = 10k \frac{q_0}{a^2}$

☐ $E = 5k \frac{q_0}{2a^2}$

☐ $E = k \frac{q_0}{2a^2} \sqrt{13}$

☐ $E = k \frac{2q_0}{a^2} \sqrt{13}$

Ćwiczenie 7



Wyznacz wektor natężenia pola elektrycznego w środku kwadratu, w którego wierzchołkach znajdują się ładunki elektryczne. Bok kwadrantu wynosi a , wartość ładunku q_0 . Ładunki w wierzchołkach ułożone są kolejno (od lewego górnego wierzchołka, zgodnie z ruchem wskazówek zegara): $+q_0$, $+2q_0$, $+3q_0$, $+4q_0$.

☐ $E = 2k\sqrt{2} \frac{q_0}{a^2}$

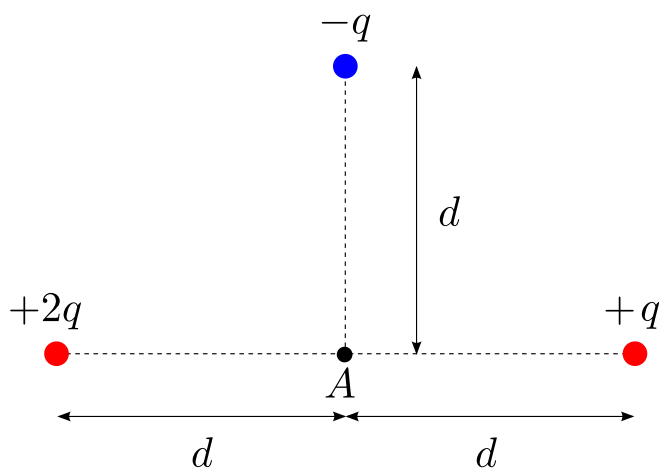
☐ $E = 4k\sqrt{2} \frac{q_0}{a^2}$

☐ $E = 2k \frac{q_0}{a^2}$

Ćwiczenie 8



Wyznacz wektor natężenia pola elektrycznego w punkcie A wskazanym na rysunku poniżej, mając dane: odległość d , wartość ładunku q .



Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

☐ $E = k\sqrt{2} \frac{q}{d^2}$

☐ $E = 4k\sqrt{3} \frac{q}{d^2}$

☐ $E = 4k\sqrt{2} \frac{q}{d^2}$

☐ $E = 2k \frac{q}{d^2}$

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Anna Kaczorowska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Pole elektryczne i natężenie pola elektrycznego w zadaniach
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, rozszerzony
Podstawa programowa:	Cele kształcenia – wymagania ogólne II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. Zakres rozszerzony Treści nauczania – wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem; 5) rozróżnia wielkości wektorowe i skalarne, wykonuje graficznie działania na wektorach (dodawanie, odejmowanie, rozkładanie na składowe). VII. Elektrostatyka. Uczeń: 3) posługuje się wektorem natężenia pola elektrycznego wraz z jego jednostką; ilustruje graficznie pole elektryczne za pomocą linii pola; interpretuje zagęszczenie linii pola jako miarę natężenia pola; rozróżnia pole centralne i pole jednorodne; 4) analizuje natężenie pola wytwarzanego przez układ ładunków punktowych i oblicza jego wartość.
Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.: • kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje cyfrowe, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

Cele operacyjne:	Uczeń: 1. oblicza natężenie pola będącego superpozycją pól z kilku źródeł; 2. ocenia, kiedy można zastosować do wyżej wymienionego problemu regułę równoległoboku dodawania wektorów.
Strategie nauczania:	odwróconej klasy
Metody nauczania:	klasowo-lekcyjna
Formy zajęć:	praca w grupach, praca indywidualna
Środki dydaktyczne:	tablica
Materiały pomocnicze:	e-materiał: „Pole elektryczne i natężenie pola w zadaniach”
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Lekcja ma charakter powtórzeniowy. Nauczyciel na poprzedzającej lekcji prosi uczniów, aby zapoznali się z częścią „Warto przeczytać”. Na początku lekcji sprawdza, czy uczniowie potrafią zdefiniować pojęcie pola elektrycznego i pojęcie natężenia pola.	
Faza realizacyjna:	
Nauczyciel przechodzi do zasadniczej części lekcji – analizy trudniejszych zadań związanych z obliczaniem natężenia pola pochodzącego z kilku źródeł. W pierwszym zadaniu należy obliczyć natężenie pola w środku kwadratu, w którego trzech wierzchołkach znajdują się ładunki o jednakowej wartości. Dane są wartości ładunków i bok kwadratu. Nauczyciel dzieli uczniów na grupy. Każda z grup rozwiązuje inny wariant ustawienia ładunków. Ze względu na symetrię problemu, zadanie można rozwiązać nie używając układu współrzędnych i zapisu wektorowego w tym układzie. Wystarczy zastosować regułę równoległoboku w dodawaniu wektorów. Po zaprezentowaniu wyników przez kolejne grupy uczniów nauczyciel pokazuje rozwiązanie jednego z wariantów z zastosowaniem układu współrzędnych. Następnie przechodzi do trudniejszej wersji tego samego zadania, a mianowicie w każdym z trzech wierzchołków jest ładunek o innej wartości. Powoduje to, że wartości wektorów natężenia pochodzącego od każdego ze źródeł są różne i zadanie można rozwiązać tylko wykorzystując zapis wektorowy w układzie współrzędnych zaczepionym w środku kwadratu.	
Faza podsumowująca:	
Nauczyciel podsumowuje pracę uczniów wystawiając oceny. Odpowiada na pytania.	

Praca domowa:

Nauczyciel zadaje do rozwiązania zadanie, w którym należy obliczyć natężenie pola w środku trójkąta o znanym boku, mając w wierzchołkach ładunki różnoimienne o tej samej wartości.

**Wskazówki
metodyczne
opisujące różne
zastosowania
danego
multimedium**

Multimedium bazowe można wykorzystać na lekcji.